

УДК 621.391.812

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ ПРОСТРАНСТВА ПОМЕХ С ПОСТОЯННОЙ ВЕРОЯТНОСТЬЮ ЛОЖНЫХ ТРЕВОГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРАВИЛ НЕЧЕТКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ

Х. Е. БОУШЕЛАГЕМ^{1*}, М. ХАМАДУШ¹, Ф. СОЛТАНИ², К. БАДДАРИ¹

¹Университет Бумердес,
Алжир, Бумердес, 35000

²Университет Фред Мантури Константина,
Алжир, Константина, 25000

Аннотация. В работе рассмотрены характеристики распределенной адаптивной системы обнаружения карты помех с постоянной вероятностью ложных тревог CMAP-CFAR (clutter map constant false alarm rate) с использованием правил нечеткого объединения в условиях однородного и неоднородного фона. Предполагается, что датчики являются идентичными, и цель флуктуирует в соответствии с первой моделью Сверлинга на фоне белого гауссова шума с неизвестной дисперсией. Каждый детектор рассчитывает значение функции принадлежности к пространству ложных тревог на основании предыдущих выборок проверяемой ячейки и передает это значение в центр объединения. Эти значения объединяются в соответствии с правилами нечеткого объединения для получения глобальной функции принадлежности к пространству ложных тревог. Полученные результаты показали, что наилучшая характеристика эффективности получается при использовании нечеткого правила «алгебраического произведения», а вероятность обнаружения существенно возрастает с увеличением количества детекторов.

Ключевые слова: нечеткие правила; нечеткие пространства; CMAP-CFAR; постоянная вероятность ложных тревог; распределенная система; объединение данных; радиолокационное обнаружение

1. ВВЕДЕНИЕ

Ницберг (Nitzberg) [1] предложил CFAR процессор (constant false alarm rate) для определения карты пассивных помех при использовании цифровой фильтрации путем обновления оценочной мощности фона соответствующей ячейки карты при каждом сканировании.

В этой работе рассмотрена распределенная CFAR система обнаружения карты помех FCMAP-CFAR (Fuzzy Clutter MAP CFAR) с использованием центра объединения нечетких данных. Проанализирована эффективность распределенной системы обнаружения, состоящей из N нечетких детекторов CFAR для различных правил нечеткого объединения, та-

ких как «max» (максимум), «min» (минимум), «алгебраическая сумма» и «алгебраическое произведение».

Статья имеет следующую структуру: в разделе 2 определены математические модели, выведено выражение в замкнутой форме для функции принадлежности детектора системы FCMAP-CFAR. В разделе 3 представлены некоторые результаты моделирования и их обсуждение. Раздел 4 содержит выводы.

2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Рассматриваемая модель представляет собой нечеткую систему CMAP-CFAR (clutter

DOI: [10.20535/S0021347019010011](https://doi.org/10.20535/S0021347019010011)

© Х. Е. Боушелагем, М. Хамадуш, Ф. Солтани, К. Баддари

2. Hamadouche, M.; Barakat, M.; Khodja, M. "Analysis of the clutter map CFAR in Weibull clutter," *Signal Processing*, Vol. 80, No. 1, p. 117-123, 2000. DOI: [10.1016/S0165-1684\(99\)00115-2](https://doi.org/10.1016/S0165-1684(99)00115-2).

3. Hammoudi, Z.; Soltani, F. "Distributed CA-CFAR and OS-CFAR detection using fuzzy spaces and fuzzy fusion rules," *IEE Proc. - Radar Sonar Navigation*, Vol. 151, No. 3, p. 135-142, 2004. DOI: [10.1049/ip-rsn:20040560](https://doi.org/10.1049/ip-rsn:20040560).

4. Bouchelaghem, H. E.; Hamadouche, M. "On the performance of CMAP-CFAR detection in distributed sensor networks," *Proc. of 2nd Int. Conf. on Embedded Systems in Telecommunications and Instrumentation*, ICESTI, Oct. 2014, Annaba, Algeria. 2014.

5. Bouchelaghem, H. E.; Hamadouche, M.; Soltani, F.; Baddari, K. "Adaptive clutter-map CFAR detection in distributed sensor networks," *AEU-Int. J. Electronics Commun.*, Vol. 70, No. 9, p. 1288-1294, 2016. DOI: [10.1016/j.aeue.2016.06.016](https://doi.org/10.1016/j.aeue.2016.06.016).

6. Bouchelaghem, H. E.; Hamadouche, M.; Soltani, F.; Badari, K. "Analysis of distributed clutter-map CFAR detection using fuzzy fusion rules," *Proc. of Int. Conf. on Mechanics and Aeronautics*, CIMA 2016, 18-20 Oct. 2016, Algiers, Algeria. 2016.

7. Bouchelaghem, H. E.; Hamadouche, M.; Soltani, F. "CACM-CFAR performance analysis," *Proc. of Int. Conf. on Technological Advances in Electrical Engineering*, ICTAEE16, 24-26 Oct. 2016, Skikda, Algeria. 2016.

8. Bouchelaghem, H. E.; Hamadouche, M. "Performance analysis of a new CFAR detector for heterogeneous environments," *Digital Signal Processing*, Vol. 9, No. 2, p. 35-39, 2017. URI: <http://www.ciiiresearch.org/dl/index.php/dsp/article/view/DSP022017004>.

9. Bouchelaghem, H. E.; Hamadouche, M. "Fuzzy CACMAP-CFAR performance analysis," *Fuzzy Systems*, Vol. 9, No. 3, p. 45-48, 2017. URI: <http://www.ciiiresearch.org/dl/index.php/fs/article/view/FS032017001>.

10. El Mashade, Mohamed B. "Multitarget analysis of CFAR detection of partially-correlated χ^2 targets," *Radioelectron. Commun. Syst.*, Vol. 59, No. 1, p. 1-27, 2016. DOI: [10.3103/S0735272716010015](https://doi.org/10.3103/S0735272716010015).

11. El Mashade, Mohamed B. "Heterogeneous performance evaluation of sophisticated versions of CFAR detection schemes," *Radioelectron. Commun. Syst.*, Vol. 59, No. 12, p. 536-551, 2016. DOI: [10.3103/S0735272716120025](https://doi.org/10.3103/S0735272716120025).

12. Papoulis, A. *Probability, Random Variables and Stochastic Processes*. New York: McGraw-Hill, 1984.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Nitzberg, R. "Clutter map CFAR analysis," *IEEE Trans. Aerospace Electronic Systems*, Vol. AES-22, No. 4, p. 419-421, July 1986. DOI: [10.1109/TAES.1986.310777](https://doi.org/10.1109/TAES.1986.310777).

Поступила в редакцию 28.03.2017

После доработки 10.12.2018

Принята к публикации 04.01.2019